

**ANALISIS PERBANDINGAN BAHAN MATERIAL MAGNET
DALAM PEMODELAN PERMANENT MAGNET
SYNCHRONOUS GENERATOR (PMSG) 12 SLOT 8 KUTUB
DENGAN MENGGUNAKAN FINITE ELEMEN METHOD
(FEM) SOFTWARE**



PUBLIKASI ILMIAH

**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

YUDI PRASETYO

D400150111

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PERBANDINGAN BAHAN MATERIAL MAGNET DALAM
PEMODELAN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR
(PMSG) 12 SLOT 8 KUTUB DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE ELEMEN
METHOD (FEM) SOFTWARE***

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

YUDI PRASETYO

D400150111

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



UMAR, S.T., M.T

NIK.731

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PERBANDINGAN BAHAN MATERIAL MAGNET DALAM
PEMODELAN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR
(PMSG) 12 SLOT 8 KUTUB DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE ELEMEN
METHOD (FEM) SOFTWARE***

OLEH

YUDI PRASETYO

D400150111

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 13 Agustus 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar, S.T, M.T

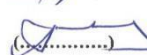
(Ketua Dewan Penguji)

2. Jatmiko, Ir, M.T

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Tindyo Prasetyo, S.T

(Anggota II Dewan Penguji)



Dekan,

Ir. Sri Sunarjono, M.T, Ph.D

NIK.628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 05 Agustus 2019

Penulis



YUDI PRASETYO

D400150111

ANALISIS PERBANDINGAN BAHAN MATERIAL MAGNET DALAM PEMODELAN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR (PMSG) 12 SLOT 8 KUTUB DENGAN MENGGUNAKAN FINITE ELEMEN METHOD (FEM) SOFTWARE

Abstrak

Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok di era sekarang. Kebutuhan listrik pada waktu yang akan datang meningkat seiring dengan adanya peningkatan dan perkembangan, baik dari jumlah investasi, jumlah penduduk, perkembangan teknologi dan lain-lain. Salah satu energi yang dapat dikembangkan yaitu energi angin, energi angin dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik, yang dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Komponen PLTB terdiri dari turbin angin, generator dan baterai. Generator yang digunakan dalam topik ini adalah permanent magnet synchronous generator (PMSG) 12 slot 8 kutub, generator tersebut merupakan generator yang dapat menghasilkan energi listrik skala mikro. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan efisiensi material yang terdapat pada generator dengan menggunakan Finite Element Method (FEM) Software yaitu pemodelan dan analisis komponen elektromagnetik menggunakan software MagNet 7.5, data yang diperoleh dari software tersebut akan menjadi sumber data yang akan dianalisis, sehingga dapat diketahui perbandingan efisiensi material permanent magnet synchronous generator (PMSG) 12 slot 8 kutub. Magnet merupakan salah satu bahan inti dalam generator, pada simulasi ini magnet yang menjadi variable bebasnya, sehingga terdapat beberapa percobaan mengubah bahan magnet, yaitu PM12: Br 1.2 mur 1.0, NdFeB: Neodymium Iron Boron, dan Samarium Cobalt 26/26, dengan tambahan variasi RPM dan beban pada generator.

Kata Kunci: Generator, PMSG, 12 slot 8 kutub, PLTB, MagNet Infolytica.

Abstract

Electricity is one of the basic needs in the present era. Electricity needs in the future increase along with the increase and development of both the number of investments, population, technological developments and others. One of the energy that can be developed is wind energy, wind energy can be used as an electric energy generator, which is known as Bayu Power Plant (PLTB). The PLTB component consists of wind turbines, generators and batteries. The generator used in this topic is permanent magnet synchronous generator (PMSG) 12 8-pole slot, the generator is a generator that can produce micro-scale electricity. The purpose of this study is to find out the comparison of the efficiency of the material contained in the generator using the Finite Element Method (FEM) Software namely electromagnetic component modeling and analysis using MagNet 7.5 software, the data obtained from the software will be the source of data to be analyzed, so that it can be known efficiency comparison of permanent magnet synchronous generator (PMSG) material 12 slots 8 pole . Magnet is one of the core ingredients in the generator, in this simulation the magnet becomes the independent variable, so there

are several experiments to change the magnetic material, namely PM12: Br 1.2 myrrh 1.0, NdFeB: Neodymium Iron Boron, and Samarium Cobalt 26/26, with additional variations RPM and load on the generator.

Keywords: Generator, PMSG, 12 slot 8 pole, Wind Power, MagNet Infolytica.

1. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk di Indonesia semakin tahun semakin bertambah. Hal ini diiringi juga dengan pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi. Salah satu sumber energi listrik yang digunakan di negara Indonesia kebanyakan merupakan hasil konversi energi dari sumber energi yang tidak terbarukan dan jumlahnya terbatas. Energi listrik merupakan kebutuhan mutlak bagi aktivitas keseharian masyarakat, terutama untuk kebutuhan rumah tangga, sektor usaha dan industri.

Indonesia memiliki banyak potensi energi baru terbarukan yang masih belum dimaksimalkan. Salah satunya adalah potensi energi angin. Meskipun kecepatan angin di Indonesia tidak sekencang di negara sub-tropis, akan tetapi potensi ini masih dapat dimanfaatkan. Salah satu cara pemanfaatannya yaitu dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), diantaranya menggunakan generator skala mikro.

Fungsi generator listrik adalah mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Tipe generator yang cocok digunakan untuk kecepatan putar rendah adalah tipe generator magnet permanen flux tiga fasa. Tipe ini sangat memudahkan dalam mendesain generator dengan kapasitas daya, tegangan, dan kecepatan tertentu, hal ini dapat diwujudkan dengan mengubah parameternya seperti kekuatan flux magnet, jumlah lilitan kumparan dan belitannya, jumlah magnet serta ukuran diameter kawat. Dalam penelitian ini bahan material magnet menjadi variabel perbandingan utama, diantaranya menggunakan PM12: Br 1.2 mur 1.0, NdFeB: Neodymium Iron Boron, dan Samarium Cobalt 26/26, serta dengan variasi kecepatan RPM dan beban.

Mesin listrik membutuhkan medan magnet agar bisa mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dan sebaliknya. Ketika eksitasi terpisah dari mesin sinkron dan dilakukan oleh magnet permanen dan bukan kumparan, mesin tersebut disebut Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM). Tidak ada kekuatan

yang hilang untuk eksitasi medan magnet di rotor melalui kumparan maupun dari magnet permanen. Dengan menggunakan magnet permanen pada rotor akan mengurangi berat, karena konstruksi rotor dari PMSM lebih kecil daripada konstruksi mesin sinkron dengan rotor dari kumparan eksitasi, hal tersebutlah yang menjadi salah satu kelebihan magnet permanen.

Penelitian M. Choirul Anam dkk merancang generator 100 watt menggunakan software MagNet Infolytica. Memilih kombinasi 12 slot 8 pole dengan diameter 13 centimeter dan ketebalan 5 centimeter dengan menggunakan 12 lilitan diputar dengan 100 rpm. Menghasilkan tegangan 21.65 volt dan arus 0 ampere ketika tanpa beban, untuk rancangan berbeban menghasilkan tegangan output 23.89 volt dan arus sebesar 5 ampere. (M. Choirul Anam, 2016).

Penelitian tugas akhir ini menggunakan generator magnet permanen 12 slot stator, 8 kutub, dengan analisis perbandingan material dalam pemodelan permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 kutub yang menggunakan Finite Element Method (FEM) Software MagNet 7.5. Finite Element Method (FEM) adalah metode yang terbukti secara efektif dalam menghitung distribusi dari medan elektromagnetik. Menggunakan metode ini dapat melakukan analisa distribusi fluks magnet yang berasal dari magnet permanen. Keuntungan FEM yaitu dapat menghitung beberapa parameter seperti torsi cogging, armature effect, dan nilai induktansi, yang nantinya data yang didapatkan akan dianalisis, kemudian hasil pemodelan generator tersebut diharapkan dapat menunjang perkembangan penelitian generator di Indonesia, khususnya dalam pemanfaatan energi terbarukan yaitu energi angin. Generator menghasilkan frekuensi listrik yang sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut, hal ini dapat dilihat dari persamaan berikut ini.

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} \quad (1)$$

Keterangan :

f = Frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub rotor

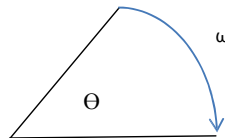
n = kecepatan putar rotor (rpm)

Gerak rotor pada generator terjadi berupa gerakan melingkar, sehingga parameter kecepatan yang diukur adalah kecepatan angular (ω) dalam rad/s, sehingga :

$$= B \cdot l \cdot \omega \quad (2)$$

Keterangan :

- B : kerapatan flux magnet (Tesla)
- L : Panjang konduktor (m)
- Ω : kecepatan angular dalam rad/s

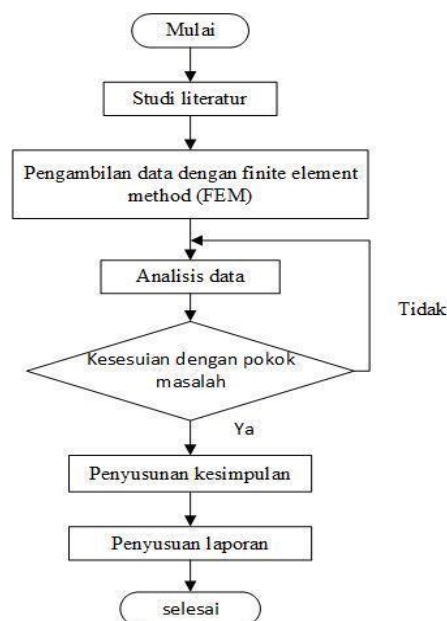


Gambar 1. Ilustrasi gerak putar rotor dalam rad/s.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Ada beberapa tahapan yang digunakan penulis dalam penyusunan laporan Tugas Akhir. Tahap – tahap penelitian ini tercantum pada flowchart sebagai berikut.



Gambar 2. *Flowchart* tahap-tahap penelitian

2.2 Perancangan Generator

Perancangan generator yang harus dilakukan adalah memperhitungkan segala sisi aspek mulai dari rotor, stator, magnet, dan lain-lain. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan meliputi variasi bahan material magnet, variasi kecepatan RPM, serta variasi beban. Yang nantinya akan dibuat simulasi pada software MagNet 7.5 berbasis Finite Element Method (FEM), berikut tabel mengenai perancangan generator yang akan dibuat.

Tabel 1. Variabel perancangan generator

Material magnet	Variasi RPM	Variasi beban
PM12: Br 1.2 mur 1.0	1000	10 ohm
Neodymium Iron Boron	1500	15 ohm
Samarium Cobalt 26/26	2000	25 ohm

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa generator akan diputar dengan kecepatan RPM minimum 1000 RPM dan maksimum 2000 RPM, kecepatan tersebut merupakan kecepatan sinkron pada generator.

2.3 Persamaan Daya Keluaran dan Torsi Generator.

Besarnya nilai fluk magnet celah udara berpengaruh pada EMF yang dibangkitkan. Untuk daya output dan torsi yang dihasilkan dapat diselesaikan dengan persamaan.

a) Torsi Generator

$$\omega = \frac{n \cdot 2\pi}{60} \quad (3)$$

$$K = \frac{V}{\omega} \quad (4)$$

$$\text{Dimana } K_t = K_e \quad T = K_t \cdot I \quad (5)$$

Keterangan : ω : kecepatan sudut (rad/sec)

n : putaran (rpm)

K_e : konstanta EMF

K_t : konstanta torsi

T : torsi

I : arus (ampere)

$$PIn = \quad . \quad \frac{2\pi}{60} \quad (6)$$

Keterangan : Pin : daya masuk (W)
: Torque (Nm)
: kecepatan (RPM)

$$P_{Out} = I_x V \quad (7)$$

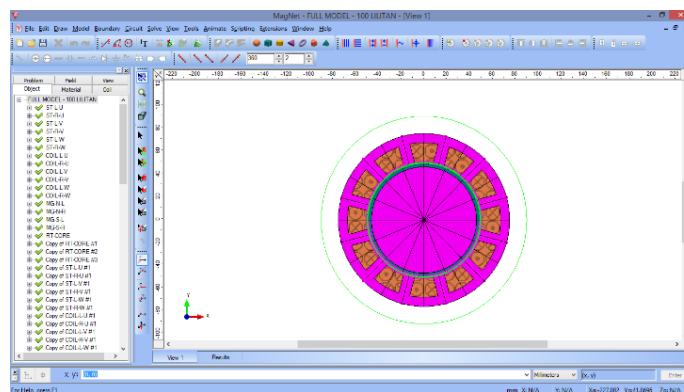
Keterangan : Pout : Daya keluar (W)
I : Arus (A)
V : Tegangan (V)

c) Efisiensi Generator

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan : η : Efisiensi
Pout : Daya keluar (W)
Pin : Daya masuk (W)

Pemodelan generator ini dilakukan untuk mengetahui bentuk model generator yang disimulasikan. Berikut adalah tampilan utama software MagNet 7.5 Infolytica.



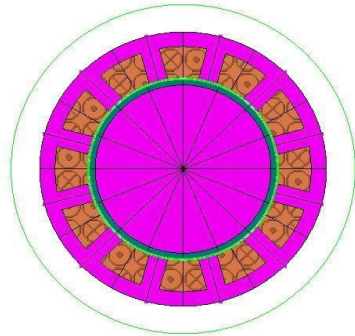
Gambar 3. tampilan utama *software MagNet 7.5 Infolityca*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

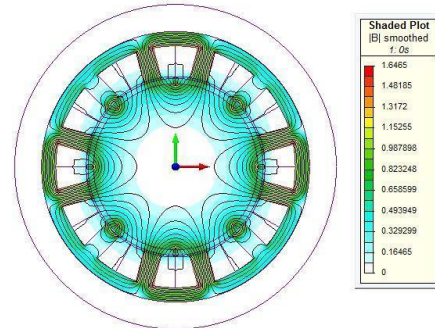
3.1 Pemodelan Generator magnet permanen 12 slot 8 kutub

Model yang dirancang yaitu generator 12 slot dan 8 kutub 3 fasa dengan menggunakan magnet permanen. Perancangan generator magnet permanen ini

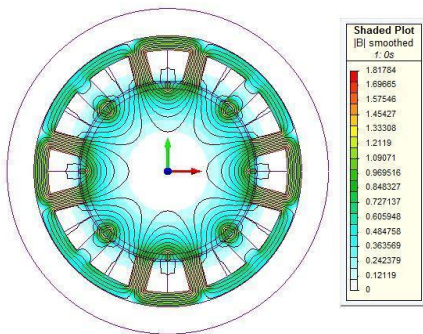
untuk memperoleh data keluaran dan efisiensi generator pada kecepatan 1000, 1500, 2000 RPM. Pergerakan generator terjadi setiap 360° per 3° .



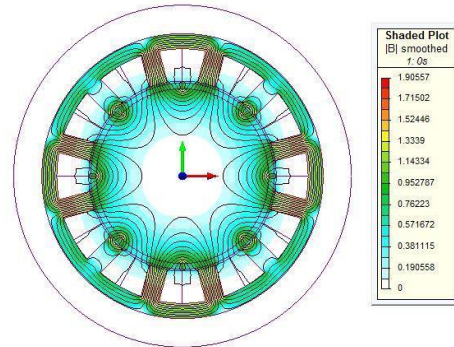
Gambar 4. Full model generator magnet permanen 12 slot 8 kutub



Gambar 4.a. Magnet : samarium cobalt



Gambar 4.b. Magnet : Neodymium Iron Boron: 28/23

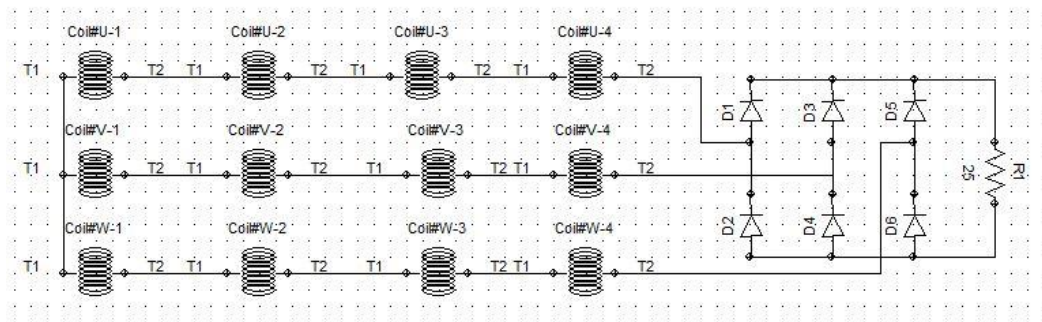


Gambar 4.c Magnet: PM12: Br 1.2 mur 1.0

Gambar 4 merupakan hasil pemodelan generator magnet permanen 12 slot 8 kutub full model, sedangkan Gambar 4.a 4.b 4.c menunjukkan gambaran aliran fluks yang menunjukkan bahwa semakin berwarna merah maka kerapatan fluksnya semakin tinggi.

3.2 Rangkaian pembebanan

Berdasarkan simulasi pemodelan generator permanen magnet 12 slot 8 kutub ini selain variasi bahan material magnet, dilakukan juga variasi kecepatan RPM dan beban, dibawah ini adalah gambar rangkaian pembebanan dari generator magnet permanen.



Gambar 5. Contoh rangkaian pembebanan (pada beban 25ohm)

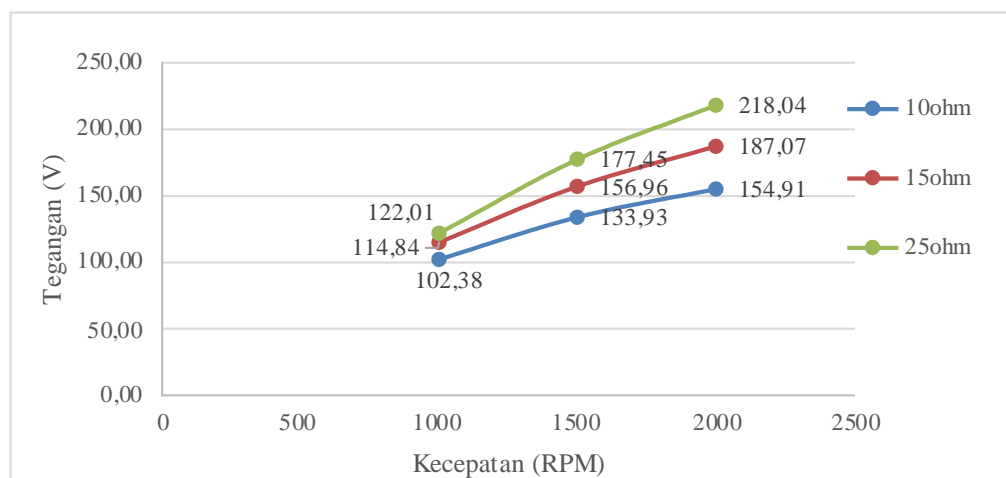
Berdasarkan gambar di atas untuk mengetahui kebenaran rangkaian tersebut, bisa diaplikasikan pada hardware generator tersebut.

3.3 Hasil simulasi variasi beban R dengan kecepatan

Berikut adalah hasil dari simulasi dengan perubahan variasi parameter beban dan nilai kecepatan putar, pada setiap bahan material magnet:

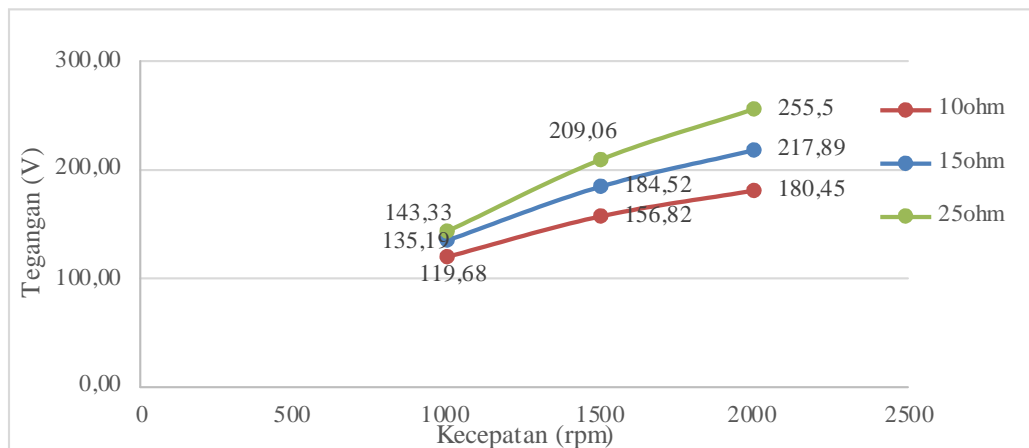
3.3.1 Tegangan

a. Magnet Samarium Cobalt 26/26



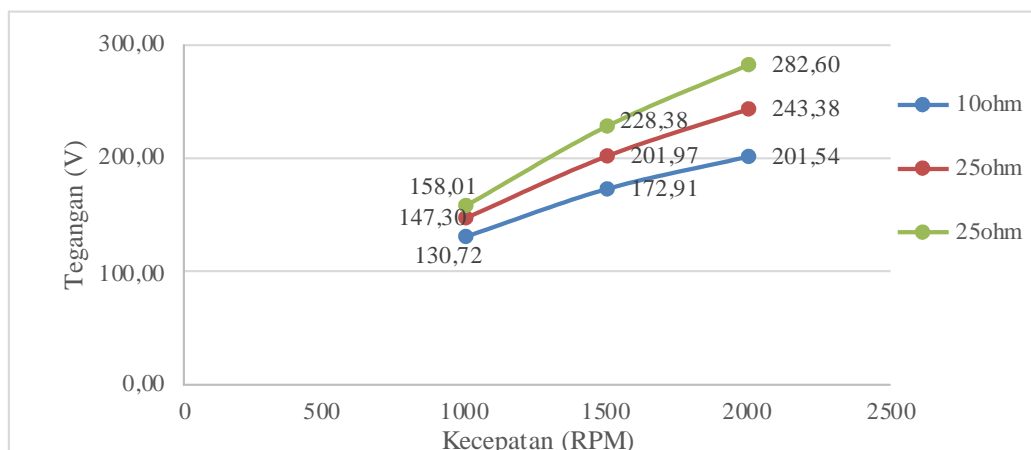
Gambar 6. Grafik hasil nilai tegangan dengan variasi beban dan kecepatan dengan material magnet *Samarium cobalt 26/26*

b. Magnet NdFeB: Neodymium Iron Boron



Gambar 7. Grafik hasil nilai tegangan dengan variasi beban dan kecepatan dengan material magnet *Neodymium Iron Boron*

c. Magnet PM12: Br 1.2 mur 1.0

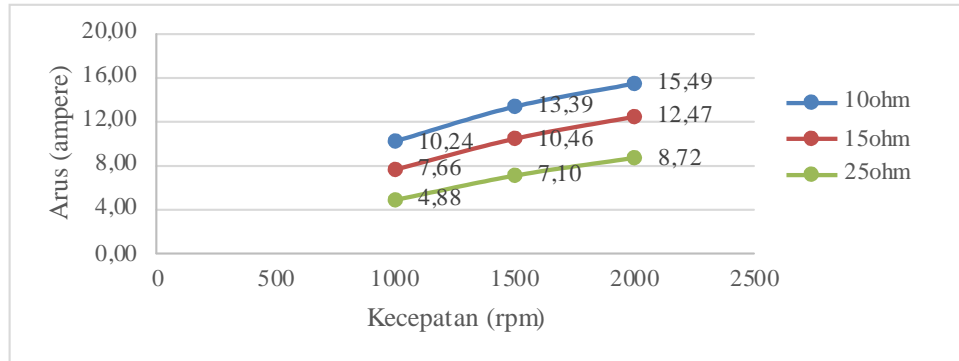


Gambar 8. Grafik hasil nilai tegangan dengan variasi beban dan kecepatan dengan material magnet *PM12 : Br1.2 mur 1.0*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putar (RPM) maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan, hal tersebut berlaku pada ketiga bahan material magnet tersebut. Nilai terbesar dari masing-masing material tersebut pada saat beban 25 ohm dan kecepatan putar 2000 rpm dengan tegangan (V) keluaran sebesar 218,04 V (Samarium Cobalt 26/26), 255,5 V (Neodymium Iron Boron), dan nilai tertinggi 282,60 V pada magnet (PM12 : Br1.2 mur 1.0).

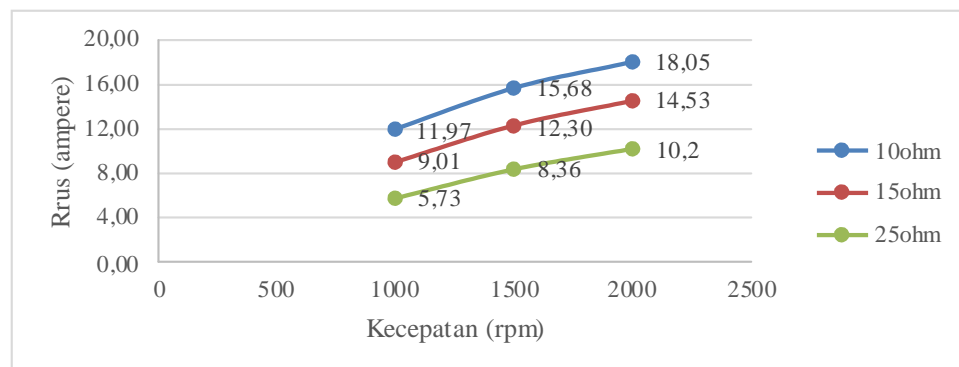
3.3.2 Arus

a. Magnet Samarium Cobalt 26/26



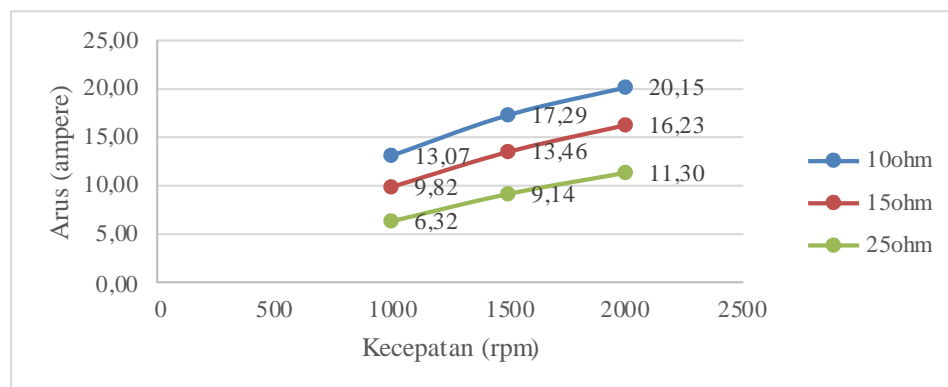
Gambar 9. Grafik nilai arus dengan variasi beban dan kecepatan dengan material magnet *Samarium Cobalt 26/26*

b. Magnet NdFeB: Neodymium Iron Boron



Gambar 10. Grafik nilai arus dengan variasi beban dan kecepatan dengan material magnet *Neodymium Iron Boron*

c. Magnet PM12: Br 1.2 mur 1.0

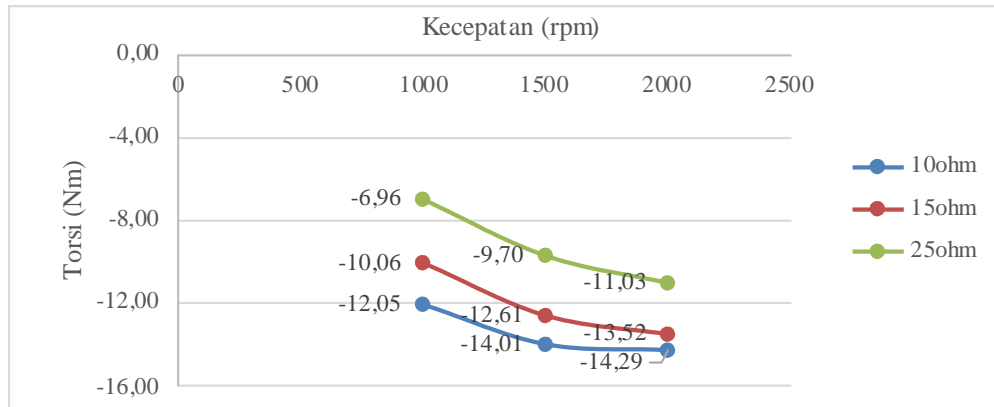


Gambar 11. Grafik nilai arus dengan variasi beban dan kecepatan dengan material magnet *PM12: Br 1.2 mur 1.0*

Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan putar maka semakin besar pula nilai arus, dan semakin besar nilai beban, semakin besar pula nilai keluaran arus.

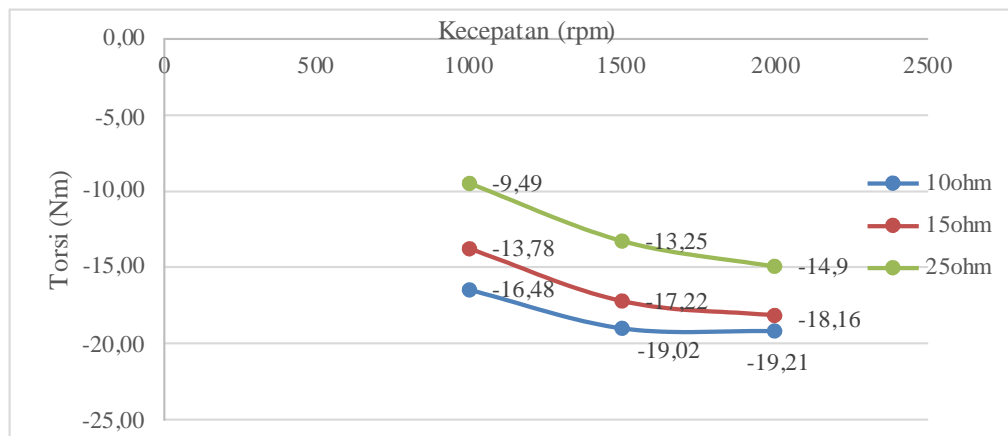
3.3.3 Torsi

a. Magnet Samarium Cobalt 26/26



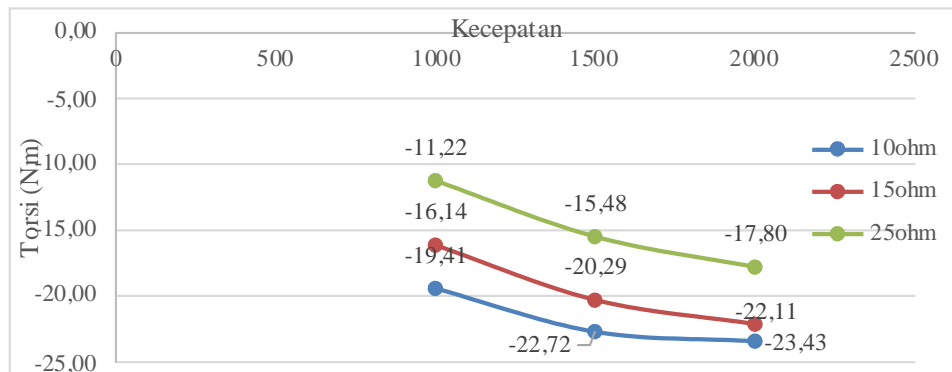
Gambar 12. Grafik nilai torsi dengan variasi beban dan kecepatan pada material magnet *Samarium Cobalt 26/26*

b. Magnet NdFeB: Neodymium Iron Boron



Gambar 13. Grafik nilai torsi dengan variasi beban dan kecepatan pada material magnet *Neodymium Iron Boron*

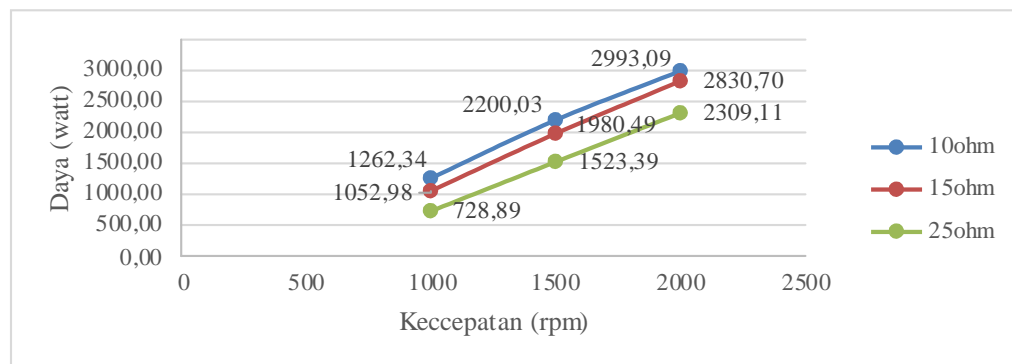
c. Magnet PM12: Br 1.2 mur 1.0



Gambar 14. Grafik nilai torsi dengan variasi beban dan kecepatan pada material magnet *PM12: Br 1.2 mur 1.0*

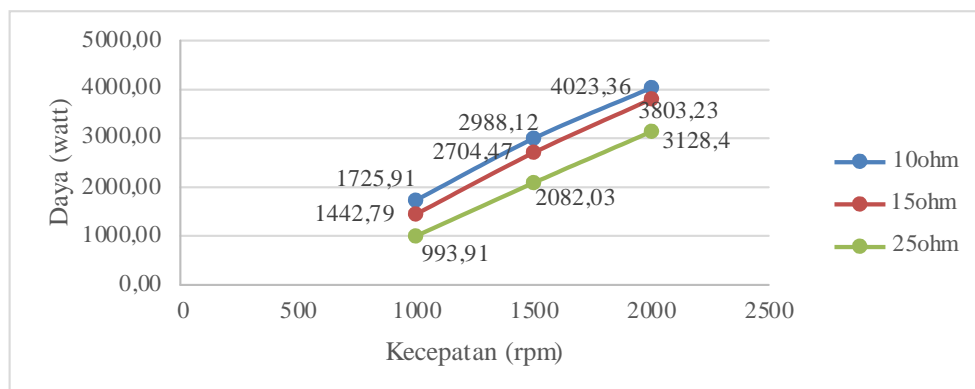
3.3.4 Daya masukan

a. Magnet Samarium Cobalt 26/26



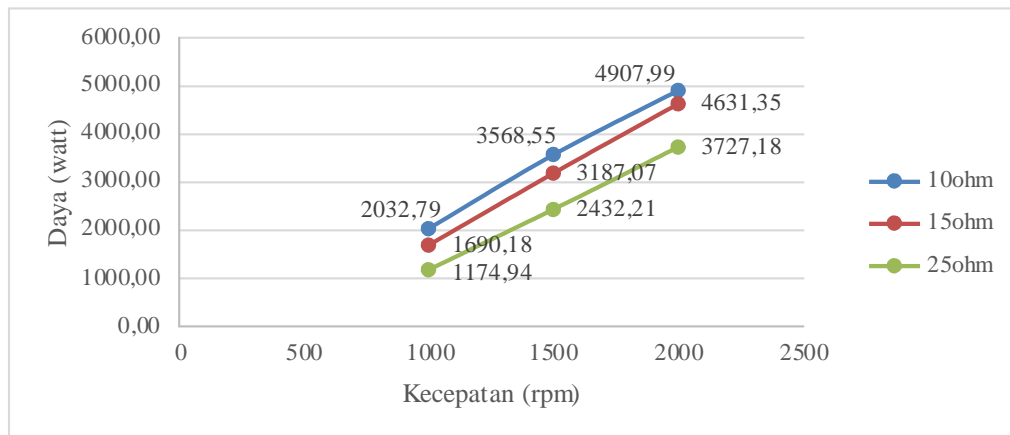
Gambar 15. Grafik nilai daya masukan pada material magnet *Samarium Cobalt 26/26*

b. Magnet NdFeB: Neodymium Iron Boron



Gambar 16. Grafik nilai daya masukan pada material magnet *Neodymium Iron Boron*

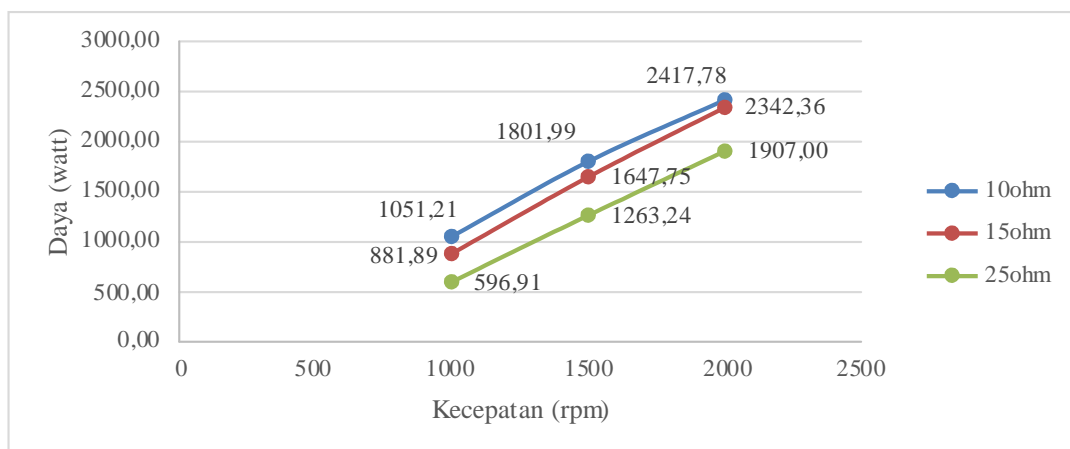
c. Magnet PM12: Br 1.2 mur 1.0



Gambar 17. Grafik nilai daya masukan pada material magnet *PM12: Br 1.2 mur 1.0*

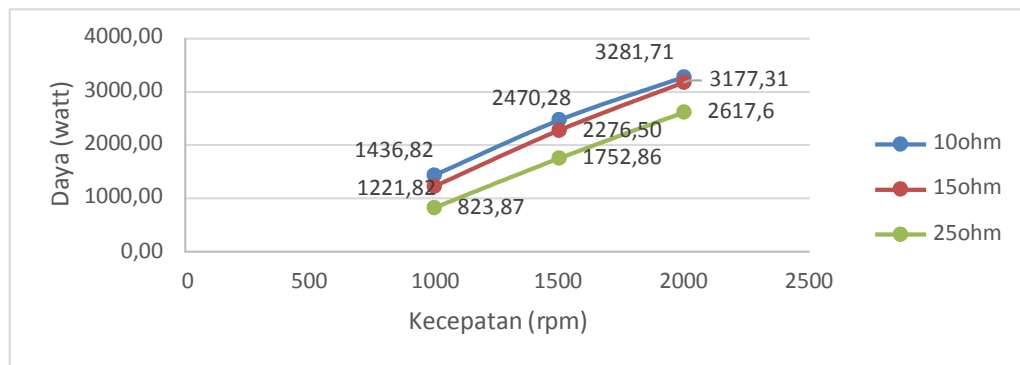
3.3.5 Daya keluaran

a. Magnet Samarium Cobalt 26/26



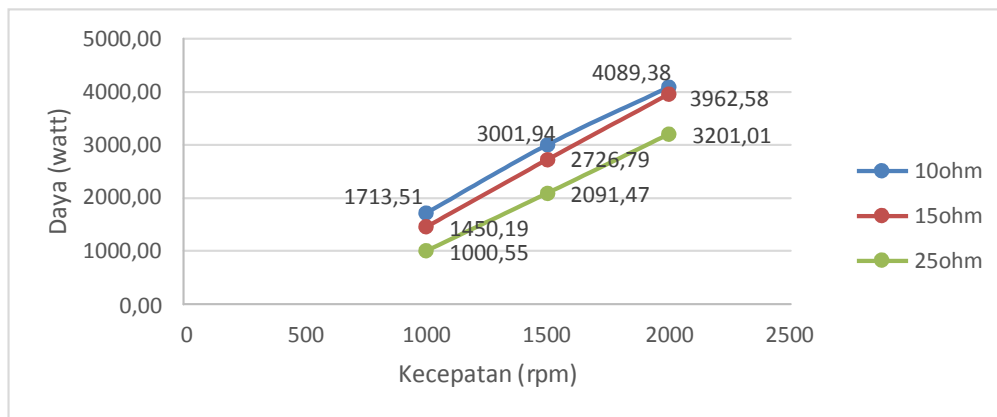
Gambar 18. Grafik nilai daya keluaran pada material magnet *Samarium Cobalt 26/26*

b. Magnet NdFeB: Neodymium Iron Boron



Gambar 19. Grafik nilai daya keluaran pada material magnet *Neodymium Iron Boron*

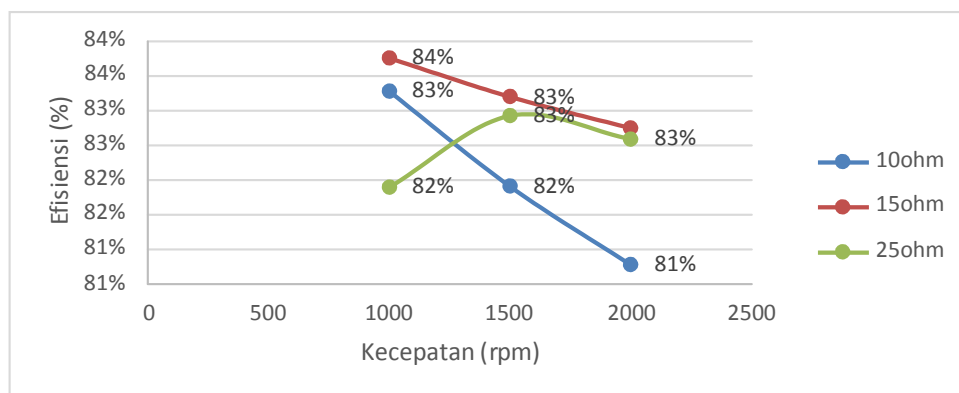
c. Magnet PM12: Br 1.2 mur 1.0



Gambar 20. Grafik nilai daya masukan pada material magnet *PM12: Br 1.2 mur 1.0*

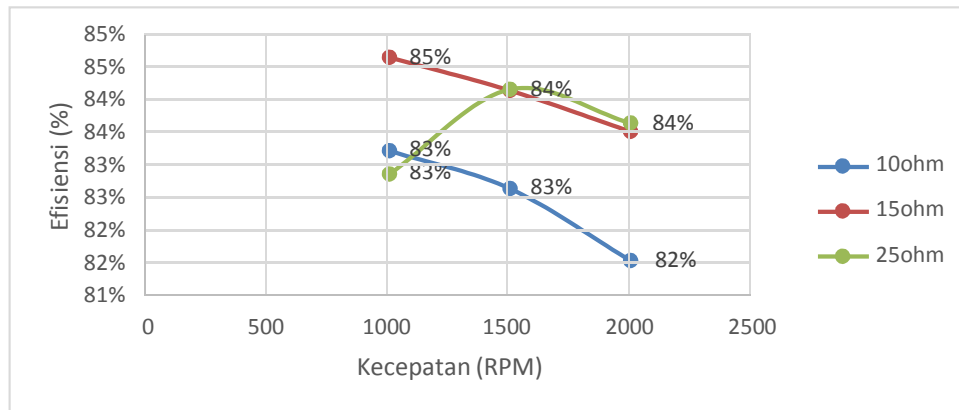
3.3.6 Efisiensi

a. Magnet Samarium Cobalt 26/26



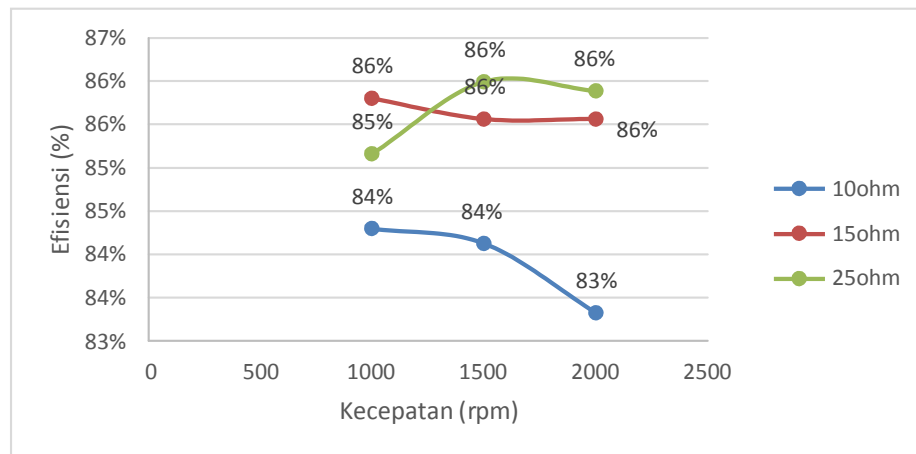
Gambar 21. Grafik nilai efisiensi pada material magnet *Samarium Cobalt 26/26*

b. Magnet NdFeB: Neodymium Iron Boron



Gambar 22. Grafik nilai efisiensi pada material magnet *Neodymium Iron Boron*

c. Magnet PM12: Br 1.2 mur 1.0



Gambar 23. Grafik nilai efisiensi pada material magnet *PM12: Br 1.2 mur 1.0*

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisa perbandingan material magnet dalam pemodelan generator magnet permanen 12 slot 8 kutub dengan metode Finite Element Method (FEM) software MagNet 7.5, penulis dapat menyimpulkan bahwa :

- Generator Permanen Magnet 12 slot dan 8 kutub 3 fasa dirancang full model dengan memvariasikan bahan material magnet guna untuk mengetahui keluaran dari generator tersebut.
- Kecepatan putar generator mempengaruhi keluaran tegangan, semakin besar kecepatan putar maka semakin besar pula nilai tegangan.
- Keluaran nilai tegangan tertinggi yaitu 282,60 V pada saat kecepatan putar 2000 RPM beban 25 ohm dengan material magnet (PM12 : Br1.2 mur 1.0).

- d. Berdasarkan dari ketiga perbandingan bahan material magnet tersebut, magnet jenis PM12 : Br1.2 mur 1.0 yang cenderung memiliki nilai keluaran tertinggi daripada jenis magnet lain
- e. Nilai efisiensi tertinggi terjadi pada saat kecepatan 2000 rpm dengan beban 25 ohm pada material magnet PM12 : Br1.2 mur 1.0 dengan nilai sebesar 86%.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunianya sehingga laporan tugas akhir ini dapat tersusun. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

- 1) Allah SWT, karena atas segala nikmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
- 2) Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan suri tauladan yang baik bagi seluruh umatnya.
- 3) Kedua orang tua dan keluarga yang telah mendoakan, memberi semangat, dan motivasi agar kelancaran di dalam pengerjaan tugas akhir.
- 4) Bang Ricky Elson dan segenap Tim LBN, karena berawal dari situlah ide membuat tugas akhir ini.
- 5) Bapak Umar, S.T, M.T selaku dosen pembimbing dan ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta, yang telah memberikan masukan kepada penulis sampai selesainya tugas akhir ini.
- 6) Dosen Jurusan Teknik Elektro UMS yang selalu memberi motivasi dan ilmu pengetahuan pada bidang elektro sehingga penulis bisa mengerjakan laporan dengan baik.
- 7) Teman-teman satu angkatan Teknik Elektro UMS, yang telah memberikan semangat, motivasi, serta bantuan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Terutama Dimas Septian, Ahmad Ainun Azzis, Doni, Ridho, Adi, Tegar, Helmi serta teman-teman lainnya yang tidak bisa sebutkan satu persatu.
- 8) Teman-teman kos Wisma Rahma dan alumni kelas XII IPA 5 SMADA Magetan yang selalu memberikan semangat kepada saya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, M.C., Nurhadi, Irfan, M., 2016. Perancangan Generator 100 Watt Menggunakan Software Elektromagnetik Infolytica.
- Ayu Martha Lestari, 2018, Analisis Efisiensi Pada Generator 12 Slot 8 Pole, Jurnal Rotor, Vol. 11, No. 1: 35-38.
- Azka, M., 2013. Analisa Perancangan dan Simulasi Generator Sinkron Magnet Permanen Dengan Rotor Berlubang.
- Direktorat jendral ketenagalistrikan KESDM. 2018. Statistik Ketenagalistrikan 2017.
- Duane Hanselman, 2006. Brushless Permanent Magnet Motor Design. Lebanon, Ohio: Magna Physics Publishing.
- J.R. Handershot and THE Miller, 1994. Design Of Brushless Permanent-Magnet Motors. Oxford : Magna Physics Publishing and Clarendon Press.
- LAN, 2014, Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin, Lentera Angin Nusantara.
- LAN, 2015, Tutorial Perancangan Motor Dengan Software Magnet, Tasikmalaya, Lentera Angin Nusantara.
- Maulana Akbar, Rancang Bangun Generator Turbin Angin Axial Tiga Fasa Untuk Kecepatan Angin Rendah, Skripsi. S1 Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2012.
- Nuraini Priyaningsih, Nurhening Yuniarti, 2017, Analisis Efisiensi Pada Wind Turbine, Jurnal Edukasi Elektrp, Vol. 1, No. 2: 158-168
- Piggot H, 2000, Windpower Workshop, Peninsula, British Wind Energy Association.